

고무 마찰 시험기의 개발

오성모*, 천길정**, 이봉구**, 김완두***

*원광대학교 대학원, **원광대학교 기계공학과, ***한국기계연구원

Development of the Friction tester for Rubber

S. M. Oh, G. J. Cheon, B. G. Rhee, W. D. Kim

Abstract - Applying design methodology, new type friction tester has been developed. Functional analysis has been executed and functional structure were constructed during the conceptual design. Optimal solution has been selected and a proto model has been manufactured according to the conceptual design. Using the proto model, experiments have been carried out and the test results were proved to be satisfied and reliable.

Key Words : friction, friction tester, tribology, rubber

1. 서 론

1.1 연구 목적 및 필요성

최근 고무 재료의 성능이 다양하게 개선됨에 따라 공업용 재료로서의 고무의 사용 범위는 매우 광범위해지고 있다. 고무는 먼지의 유입을 방지하고 기밀을 유지하기 위한 밀봉요소나 소음과 진동 방지를 위한 방진요소, 그리고 구조요소나 동력을 전달하기 위한 요소로 주로 사용되고 있다.

고무의 성질은 비선형성을 가진 종탄성계수가 작고, 파단까지의 신장율은 매우 크며, 비틀림 변형이 쉽고 전기 절연성과 내약품성을 지니고 있으며, 마찰 마모특성도 금속과는 매우 다르다.

현재 고무가 사용되는 모든 분야에서 고무의 마찰특성은 매우 중요한 문제로 인식되고 있

다. 현재까지 다양한 형태와 원리의 마찰·마모 특성 시험기가 개발되어 이용 및 판매되고 있으나, 마찰시험과 관련해서는 국제표준규격이 없어 각 나라와 회사에서 독자적인 방법이 이용되고, 이를 이용한 방법으로 고무의 마찰특성이 평가되고 있다[1~7].

또한 고무의 마찰 데이터의 변화와 제 현상에 관해서 아직까지 알려지지 않은 것이 많다. 따라서 본 연구에서는 다양한 가공조건과 운전조건의 고무류 재질에 대한 마찰특성을 파악할 수 있는 새로운 마찰 시험기를 개발하였다.

2. 본 론

2.1 시험기의 기능 분석 및 요구조건

마찰시험기는 다양한 종류의 고무류 부품의

마찰특성을 다양한 조건하에서 측정할 수 있는 기능을 갖추어야 한다.

시험기에는 측정하려고 하는 시편과 상대운동에 필요한 에너지 및 시험조건에 관한 신호가 들어가야 하고, 시험이 끝난 시편과 시험결과에 관한 신호가 시험기로부터 나와야 하기 때문에, 시험기를 블랙박스 형태로 표현하면 Fig. 1과 같다.

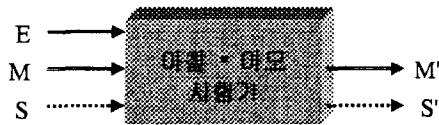


Fig. 1 Black box diagram of the tester

마찰계수를 측정하기 위해서는 시편과 기준재료 사이에 상대운동이 있어야 하고, 이때 두 물체 사이에 작용하는 수직력과 마찰력을 측정하면 마찰계수를 계산할 수 있다. 두 물체 사이에 안정적인 수직력이 작용하는 상태에서 상대운동을 발생시키기 위해서는, 시편구속과 수직력부과 및 상대운동 기능과 같은 부분기능이 있어야 한다. 또한 상대운동과 운동상태를 조절하고 감시하기 위한 부분 기능들이 필요하며, 이러한 부분 기능들을 포함하는 전체기능구조는 Fig. 2와 같다.

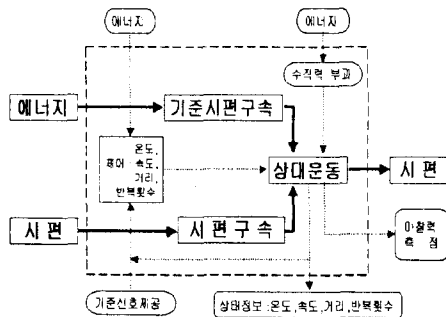


Fig. 2 Functional structure of the tester

실험 조건으로는 하중(접촉압력), 속도, 온도, 경도, 분위기(윤활, 대기), 표면거칠기, 상대적 재질과 내구성 등을 고려한다. 부분기능인 시편과 기준시편 구속에 요구되는 사항은 상대운동시 구속상태가 풀리지 않아야 하며, 구속에 의해 측정이 영향을 받지 않을 것과, 간단하며 부가적 에너지 소모가 적어야 한다. 또한 염가이어야 하고, 구속상태에서 부여되는 운동이 가능하며, 탈·착이 용이해야 할뿐 아니라 분위기 조절이 쉬워야함은 물론 타 재료도 설치가 가능하여야 한다. 상대운동에 관한 요구사항은 마찰특성의 결정에 필요한 운동이 가능하여야 하고, 반복상태에서도 동일한 상태가 유지되어야 하며, 액튜에이터의 소형경량화 및 단순성이 보장되어야 한다. 수직력 부과와 관련된 조건으로는 가해진 힘의 계측이 가능해야 하고, 측정 중 안정적이어야 하며 힘의 조절이 용이해야 한다. 마찰력측정을 위해서는 측정신호가 신뢰성있고 안정적이며, 간단하고 전산 처리시에 용이하게 이해 할 수 있는 디지털 신호를 갖추어야 한다. 제어측면에서는 설정조건이 시험지속 기간 중 불변해야 하고 신뢰성이 있어야 한다. 상태정보 측정과 기준신호 제공면에서는 공히 설정이 용이하며 신뢰성이 있어야 한다.

2.2 시험장치 구성

앞에서 검토한 기능 분석과 요구조건에 따라 다양한 해결방안들을 고안하고 비교한 결과, 상대운동은 시편의 회전운동으로, 시편과 기준시편의 구속은 고정장치로, 수직력측정은 로드셀로, 마찰력측정은 곱힘변형을 이용한 등가력으로 구현시키고, 운전상태와 조절 및 신호계측은 전용제어기를 이용하는 안이 제일 적합한 것으로 판정되었다. 개념설계에 의해 결정된 시험기의 전체적 구조는 Fig. 3과 같다.

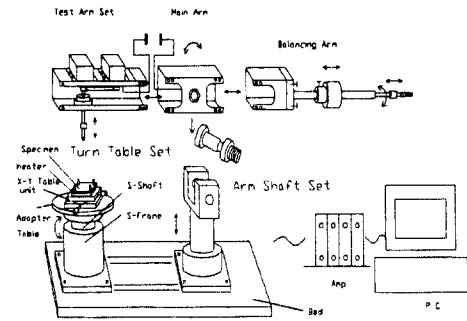


Fig. 3 Schematic diagram of the tester

기준 시편을 고정하고 수직력을 부과하며 마찰력을 측정하는 기능은 상부의 Tester arm과 Main arm 및 Balancing Arm이 수행하며, 시편을 고정하고 상대운동을 발생시키며 온도를 조절하는 기능은 하부의 Turn table이 수행한다. 측정된 신호들은 전용 Amp를 거쳐 PC에 저장되고 도시된다. Fig. 4와 Fig. 5는 각각 시험기의 전체 외관과 마찰부위를 보여준다.

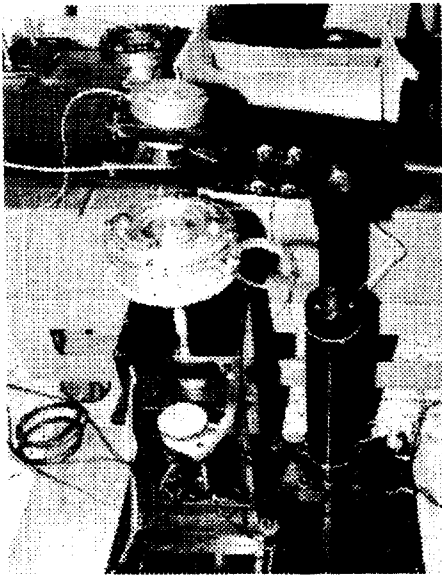


Fig. 4 Appearance of the tester

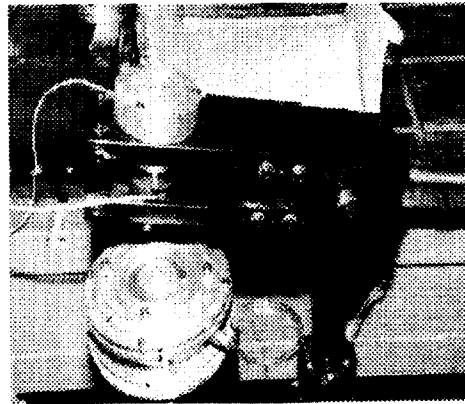


Fig. 5 Parts of relative motion

2.3 마찰특성 예비실험

본 연구에 의해 개발된 마찰시험기의 특징은, 마찰력을 측정하는데 있어서 상대운동에 의해 발생하는 시편과 시편 고정요소들의 관성력이 영향을 미치지 않는다는 점이다[1]. 시편과 기준시편이 접촉을 유지하며 상대운동을 일으킬 때 발생하는 마찰력을 측정하기 위하여 기준시편이 외팔보 형태의 편 끝에 고정되어 있기 때문에, 마찰력으로 인한 집중하중이 편 끝에 작용함으로써 편에는 굽힘 모멘트와 전단력이 작용하고, 이를 편 의 표면에 부착된 스트레인게이지를 이용하여 측정하도록 되어있다(Fig. 6). 한편 수직력 측정은 힘의 작용선상에서 측정하는 것이 제일 정확하므로(아베의 원리) 수직력이 편을 통하여 직선적으로 전달되기 때문에, 편에는 마찰력에 의한 힘과 수직력에 의한 힘이 모두 작용한다. 수직력이 작용하는 상태에서 상대운동에 의한 마찰력이 추가로 발생하면, 스트레인게이지에 의해서 측정되는 변형률과 응력은 마찰력과 수직력의 영향을 모두 포함하고 있다. 따라서 스트레인게이지를 이용하여 측정된 신호를 마찰력 계산에 이용하고자 할 때, 수직력에 의한 성분이 오차요인으로 작용하므로, 이에 의한 예상오차를 검토하였다.

Fig. 6과 같이 마찰력 F 가 작용하는 핀의 끝에서 스트레인게이지가 부착된 부분까지의 거리가 l , 면적모멘트가 I , 탄성계수 E 일 때, 굽힘모멘트에 의한 변형률은 식(1)과 같이 계산된다.

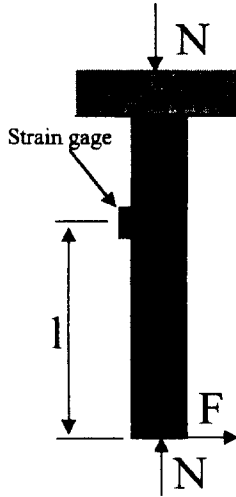


Fig. 6 Schematic diagram of the tester pin showing friction force and bending moment

$$\begin{aligned}\epsilon_b &= \frac{\sigma_{\max}}{E} = \frac{1}{E} \cdot \frac{M \cdot r}{I} \\ &= \frac{1}{E} \cdot \frac{8}{\pi r^3} \cdot M \\ &= \frac{1}{E} \cdot \frac{8}{\pi r^3} \cdot F \cdot l \quad (1)\end{aligned}$$

한편 작용되는 수직력이 N , 핀의 단면적이 A 일 때 압축력에 의해 발생하는 변형률은 다음과 같다.

$$\epsilon_c = \frac{N}{EA} \quad (2)$$

굽힘모멘트에 의한 변형률과 수직력에 의한 변형률의 상대적 크기는

$$\begin{aligned}\frac{\epsilon_c}{\epsilon_b} &= \frac{N}{EA} \cdot \frac{E\pi r^3}{8Fl} \\ &= \frac{N}{E\pi r^2} \cdot \frac{E\pi r^3}{8Fl} \\ &= \frac{r}{8l} \cdot \frac{N}{F} \quad (3)\end{aligned}$$

수직력과 마찰력사이의 관계식을 이용하여 식 (3)을 변형하면 식 (4)와 같다.

$$\frac{\epsilon_c}{\epsilon_b} = \frac{r}{8l} \cdot \frac{1}{\mu} \quad (4)$$

설계된 핀의 반경 $r = 4mm$, 핀의 끝에서 스트레인게이지가 부착된 곳까지의 거리 $l = 70mm$ 이고, 고무류에서 예상되는 마찰계수를 대략 $\mu = 0.5$ 로 할 때, 일정한 크기의 수직력에 의한 오차 성분은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}E_{stat} &= \frac{\epsilon_c}{\epsilon_b} = \frac{4}{8 \times 70} \times \frac{1}{0.5} \\ &= 0.0143 \approx 1.4\%\end{aligned}$$

한편 수직력이 가해지고 상대운동은 없는 상태에서 발생하는 스트레인게이지의 신호를 오토발관싱을 이용하여 영으로 하면, 이후에는 상대운동에 의해 발생하는 마찰력만이 신호로써 검출된다. 상대운동에 의한 채터링 등에 의해 수직력이 미소하게 변화하나, 그 변동 크기는 대략 정적하중의 10%를 넘지 않기 때문에 오토발관싱을 거친후의 수직력에 의한 기여도 오차는

$$E_{tot} \approx E_{stat} \times 0.1 = 0.14\%$$

로써 일반적인 마찰계수 정확도에는 거의 영향을 미치지 않는걸 알 수있다. 최적화 설계는 좌굴 방지가 가능한 한 마찰부로부터의 길이는 길게 하고, 게이지 부착부 직경은 가늘게 함으로써 실현 가능하다.

2.4 마찰특성 측정 실험 수행

개발된 시험기를 이용하여 고무류 시편의 마찰계수 측정 실험을 수행한 결과, 일반적인 시험기에서 요구되는 것과 같은 정도의 신뢰도와 정확도를 가지는 마찰특성을 측정할 수 있었다. 향후 시편 착탈 및 데이터처리와 관련된 사용자 편의성을 개선하고 구동부를 개조하면 상업적으로 경쟁력이 있는 제품이 될 것으로 판단된다.

3. 결론

체계적인 설계방법론을 적용하여 고무의 마찰특성 평가를 위한 마찰시험기를 개발하였다. 개발된 시험기는 다양한 운전조건하에서의 고무류 마찰특성 측정이 가능하며 안정적이고 신뢰성 있는 데이터 획득이 가능하다. 본 연구를 통하여 고무류 마찰시험장치에 대한 기본적 설계기술을 개발하였다.

참고문헌

1. R. P Brown, "Physical Testing of Rubber", 3rd ed., Chapman & Hall, 1996.
2. A. F. Alliston-Greiner, "Friction Test machines for Rubbery Materials", Tribotest journal 1-1, September, 1994.
3. M. Barquins and A. D. Roberts, "Rubber friction variation with rate and temp. : some new observations", J. Phys., Vol. 19, pp. 547-563, 1986.
4. M. Barquins, "Friction and wear of rubber-like material", Wear, Vol. 160, pp. 1-11, 1993.
5. M. Barquins, "On a new mechanism of rubber friction", Wear, Vol. 97, pp. 111-114, 1984.
6. M. Barquins, R. Courtel and D. Maugis, "Friction on stretched rubber", Wear, Vol. 38, pp. 385-389, 1976.
7. M. Barquins and A. D. Roberts, "Adhesion and friction of epoxidized natural rubber vulcanizates", J. Chim. Phys., Vol. 84, pp. 225-230, 1987.